

湿潤状態下で繰返し荷重を受ける気泡混合軽量盛土に関する研究

防災設計工学研究室 野上 和馬
指導教官 海野 隆哉

1. はじめに

気泡混合軽量盛土（以下軽量盛土）は、軽量性と施工性の良さから軟弱地盤上や都市部等の狭隘箇所で使用されており、今後ますますの使用範囲の拡大が予想される。

現在鉄道で用いられている軽量盛土は表層コンクリートで覆われている。しかし、地震などの外力や施工不良などによって表層コンクリートが破損し、破損箇所から雨水が浸透することも想定される。昨年度試験的に行われた軽量盛土に水を供給し湿潤状態における繰返し載荷試験を行ったところ、鉄道線路で問題となっている噴泥現象と同様の挙動を確認した。

そこで本研究では、この挙動を解明するため湿潤状態とした軽量盛土に列車走行時のデータを基にした繰返し圧を載荷する試験を行う。

2. 試験概要

2-1. 軽量盛土模型の作製方法

試験で用いた軽量盛土模型（以下盛土模型）は表-1の配合設計に基づいて作製した。盛土模型は固化材と粘土、水を練り混ぜてスラリー状にしたものに、気泡発生装置で発泡させた気泡を混入するプレフォーム方式で作製し、型枠に打設後、所定の強度が発現するまで気中養生を行った。ただし、打設後4,5日で脱型し、盛土模型に電気毛布を巻いて養生したので、盛土模型表面は湿った状態(Case7を除く)である。盛土模型の寸法は、長さ0.9m×高さ0.5m×幅0.3mの直方体型である。

表-1 盛土模型配合設計(1m³当り)

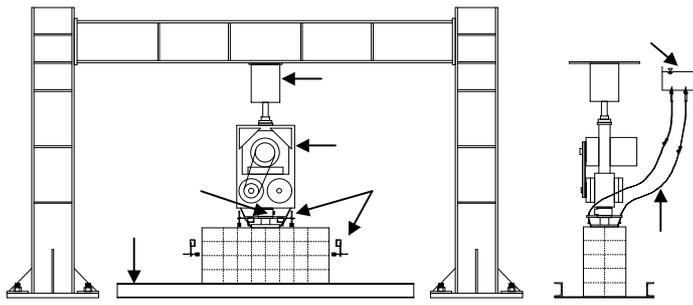
配合	設計強度 (kPa)	水セメント比	固化材 (kg)	粘土 (kg)	水 (kg)	空気量 (%)
1	500	1.65	180.0	180.0	297.0	57.8
2	1000	1.57	210.0	210.0	329.0	52.3
3	1500	1.44	240.0	240.0	345.0	48.7

2-2. 試験方法

図-1に試験概要図、表-2に試験ケースを示す。表-2に示すように上載圧、繰返し圧を一定とし、設計強度を変化させた繰返し載荷試験を行った。本試験では、反力フレームに起振機とペロフラムシリンダーを据え付け、ロードセルを介して上載圧をペロフラムシリンダーで、繰返し圧を起振機によって載荷する。載荷重を盛土模型に伝達させる載荷板は、縦20cm×横20cm×厚さ2cmの鋼板とした。また繰返し荷重の振動数を20Hzとし、基本ケースであるCase1では、試験開始から試験終了までの目標繰返し載荷回数を200万回とした。そしてCase2~8は載荷板付近の盛土模型に水を加え、湿潤状態における繰返し載荷試験を行った。載荷方法は予備載荷状態、乾燥状態、湿潤状態の3行程に分けて行った。なおCase7では、昨年度試験的に行われた盛土模型に噴泥と類似の現象を生じた繰返し載荷試験とほぼ同条件にするために、ジェットヒーターを用いて盛土模型を十分に乾燥させた。

表-2 試験ケース

Case	設計強度 (kPa)	上載圧 (kPa)	繰返し圧 (kPa)	支持条件	供給水量
1	500	70	±55	剛床	0(基本ケース)
2	500				4ml/min
3	500				4 8 12ml/min
4	1500				4ml/min
5	1000				4 8 12ml/min
6	500				1 2 4ml/min
7	500				4 8 12ml/min
8	1500				4ml/min



ここで、
 ベロフラムシリンダー 打設ベース
 起振機 盛土模型
 ロードセル 貯水タンク
 レーザー変位計 散水装置(点滴装置)
 反力フレーム

図-1 試験概要図

3. 繰返し载荷試験結果

3-1. 盛土模型の一軸圧縮強さと载荷重

表-3 に盛土模型の一軸圧縮強さと载荷重を示す。ほとんどの試験 Case において盛土模型の一軸圧縮強さは設計強度よりも大きな値を示した。これは気泡混合軽量土特有の強度のばらつきもあるが、強度管理を行うテストピース(φ5cm、高さ 12.5cm)と盛土模型の水和発熱量の大きさによる違いが影響していると考えられる。

表-3 盛土模型の一軸圧縮強さと载荷重

Case	圧縮強さ ¹⁾ q_u (kPa)	振動数 (Hz)	上載圧 (kPa)	最大载荷圧 max (kPa)	最小载荷圧 min (kPa)	荷重比 ($\frac{max}{q_u}$)
1	844.8	20.0	71.8	131.6	12.0	0.156
2	745.7	19.6	71.8	128.4	16.6	0.172
3	657.9	19.8	71.8	125.7	15.1	0.191
4	1647.4	19.7	71.8	125.3	23.6	0.076
5	754.1	19.9	71.8	128.3	15.7	0.170
6	648.4	20.1	71.9	128.2	20.5	0.198
7	648.4	19.9	72.1	130.2	17.3	0.201
8	1071.8	20.4	71.7	126.9	16.9	0.118

1) 試験時の圧縮強さ

3-2. 盛土模型の沈下量

図-2 に Case1 および Case2~8 の予備载荷状態と乾燥状態における繰返し圧による沈下量(cyc)と载荷回数(N)の関係を示す。なお図中において、盛土模型に上載圧を加え起振機を作動し、所定の振動数に達した状態の沈下量をゼロ点とする。ま

た Case1 は、载荷回数約 50 万回以降は沈下曲線に大きな変化は無く载荷板直下の盛土模型の沈下は落ち着いている傾向を示したので、载荷回数 100 万回までの沈下曲線を示した。

図より、全ての試験 Case において繰返し圧による载荷板直下の盛土模型の沈下量はほとんど見られなかった。また現在鉄道で使用されている軽量盛土は設計強度で 1500kPa の材料が主として用いられているが、今回の試験結果から設計強度を 1500kPa から 500kPa に強度を変更する、すなわち、現在利用されている軽量盛土をさらに軽量化しても列車走行荷重に十分耐えられる事を確認した。

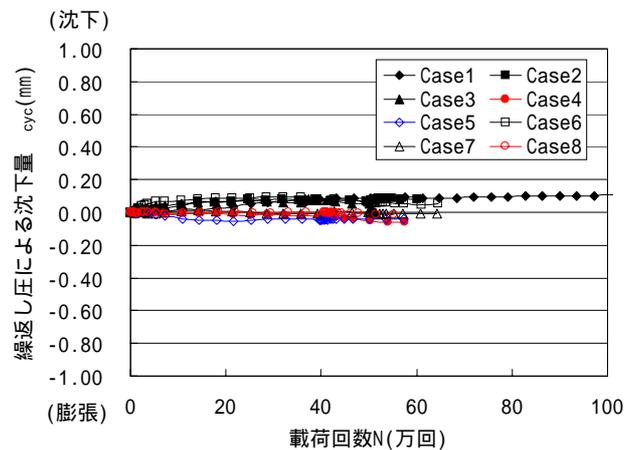


図-2 沈下量と载荷回数の関係
(予備载荷、乾燥状態)

3-3. 湿潤状態下での盛土模型の沈下量

図-3 に Case2, 3, 7 の湿潤状態における沈下量と载荷回数の関係を示す。Case2, 3, 7 ではスラリー状の軽量土が噴出する噴泥現象を確認した。そして噴泥現象が発生すると、载荷板直下の盛土模型の沈下量は急激に進行した。ここで Case2, 3 に注目すると、両者共に設計強度が同じであるが噴泥現象が発生した载荷回数が異なっている。しかも Case3 に至っては、载荷回数 215 万回時に载荷板付近の盛土模型に傷を付け、载荷板と盛土模型の間に水を浸入しやすくすると载荷回数 250 万回から噴泥現象が発生した。これより、Case2 と Case3

は水の浸透状況が異なった事が考えられる。また Case2,3 は、散水装置から供給される水が盛土模型と遊離していたのに対し、盛土模型を十分に乾燥させた Case7 では、明らかに盛土模型に水が浸透していくのを確認した。そして、載荷回数 50 万回時に噴泥現象が発生した。この事から、盛土模型に水が浸透し、載荷板と盛土模型の間に水があると噴泥現象が発生すると推測される。

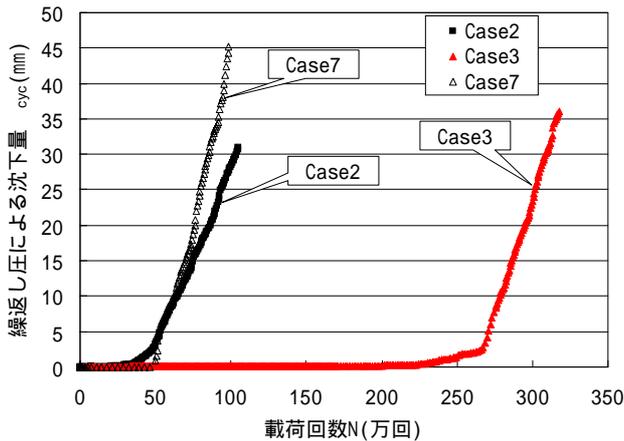


図-3 湿潤状態における沈下量と載荷回数の関係 (Case2,3,7)

次に、盛土模型に供給する水量を変化させた試験 Case である Case5,6,7 の湿潤状態における沈下量と載荷回数の関係を図-4 に示す。また、散水装置から供給される水量が一定である Case2 の結果も併せて示す。Case5 は盛土模型に傷を付けても噴泥現象が発生しなかったため、盛土模型に 2 回目の傷を付けた以降、一度載荷板を上げて載荷板直下の盛土模型を水で満たし、その後載荷板を下ろし繰返し圧を載荷させた所、噴泥現象が発生した。また Case6 も一度載荷板を上げて盛土模型上面を水で満たし、その後載荷板を下ろして湿潤状態の行程を行った。

図-4 より散水装置による水の供給量を増やすと、Case5,6,7 の沈下曲線が急になる傾向を示した。したがって、噴泥現象が発生してからの載荷板直下の盛土模型の沈下速度は水量に比例すると思われる。

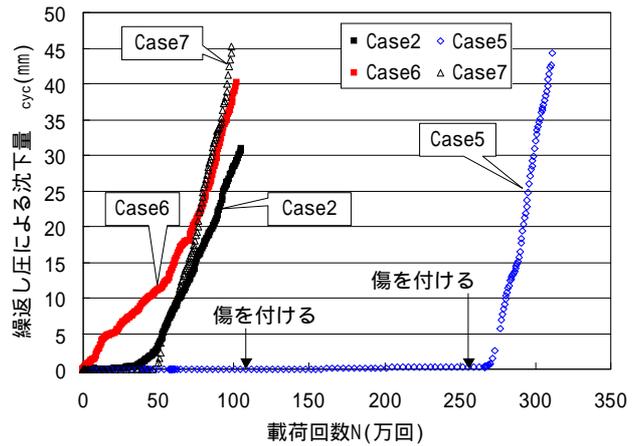


図-4 湿潤状態における沈下量と載荷回数の関係 (Case2,5,6,7)

3-4. 流量値と沈下曲線勾配の関係

表-4 に各試験 Case における盛土模型の沈下曲線から得られる沈下曲線勾配(a)を計画流量値別に示す。なお、沈下曲線は次式のように表される。

$$cyc = a \cdot N + b \quad \dots \text{式-1}$$

ここで、
 cyc : 繰返し圧による沈下量(mm)
 a : 沈下曲線勾配
 N : 繰返し載荷回数(万回)
 b : 沈下曲線の切片

Case4,8 は湿潤状態において盛土模型の沈下量が発生しなかったため、沈下曲線勾配を 0 とした。

表-4 湿潤状態の盛土模型が有する沈下曲線勾配

Case	空気量 ¹⁾ a_i (%)	圧縮強さ ²⁾ q_u (kPa)	沈下曲線勾配(a)				
			1ml/min	2ml/min	4ml/min	8ml/min	12ml/min
1	57.5	844.8	基本ケースのため沈下曲線勾配は無し				
2	62.5	745.7	-	-	0.444	-	-
3	57.5	657.9	-	-	0.321	0.691	0.930
4	48.8	1647.4	-	-	0	-	-
5	55.0	754.1	-	-	0.492	1.408	1.780
6	60.0	648.4	0.187	0.535	1.058	-	-
7	57.5	648.4	-	-	0.458	1.156	1.511
8	45.0	1071.8	-	-	0	-	-

1)品質管理試験より得られた値

2)試験時の圧縮強さ

図-5 に流量値(q)と沈下曲線勾配(a)の関係を示す。なお流量値の下に示されている数値は、流量値を載荷板面積で除した値である換算雨量を示す。また図中には、Case1 および Case4,8 の値を省略した。

盛土模型に供給する水量と設計強度が同じである Case3,7 に注目すると、盛土模型を十分に乾燥させた Case7 は Case3 よりも沈下曲線勾配が大きいことが読みとれる。この事から、盛土模型に浸透する水量が多いほど、載荷板直下の盛土模型の沈下曲線勾配が大きくなると考えられる。また、Case3,6 の初期沈下曲線勾配を見ると、Case3 では 0.321、Case6 では 0.187 である事から、盛土模型の強度が同じであれば盛土模型に供給される水量が多いほど沈下曲線勾配は大きくなると考えられる。

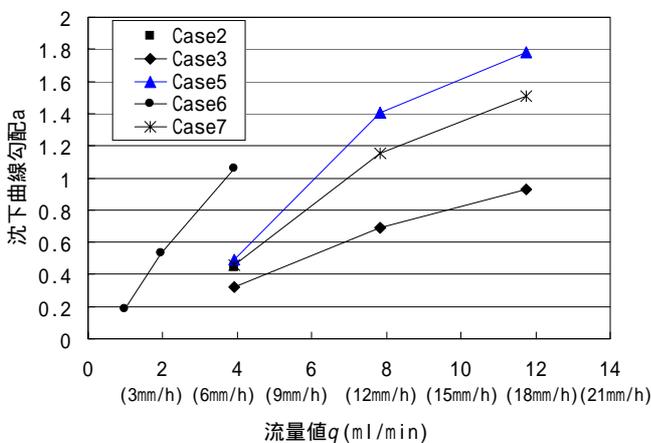


図-5 流量値と沈下曲線勾配の関係

3-5. 空気量と沈下曲線平均勾配の関係

図-6 に盛土模型の空気量(a_i)と沈下曲線平均勾配(a')の関係を示す。なお Case3,5 は載荷回数 200 万回までに噴泥現象が発生しなかったため、沈下曲線勾配 0 の値も併せて表示した。また沈下曲線平均勾配とは、表-4 に示している各試験 Case の流量値ごとに得られる沈下曲線勾配を平均した物である。

設計強度 500kPa および 1000kPa で噴泥現象が発生した。したがって、空気量が多いと噴泥現象が発生すると推測される。また本研究で試験した範囲では、空気量または繰返し荷重比がある限界を越えると噴泥現象が発生すると思われる。

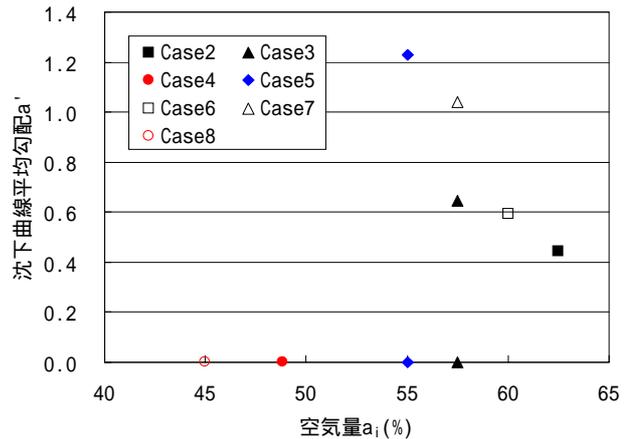


図-6 空気量と沈下曲線平均勾配の関係

4. 結論

本研究で得られた知見を要約すると以下の通りである。

(a) 予備載荷状態および乾燥状態

- 1) 荷重比(q_{max}/q_u)が 0.2 までなら、繰返し圧による載荷板直下の盛土模型の沈下量は 0.1mm 程度とほとんど沈下しない。
- 2) 現在鉄道で使用されている軽量盛土をさらに軽量化しても、列車走行荷重に十分耐えられることを確認した。

(b) 湿潤状態

- 1) 多くの場合は、水を供給しても直ちに噴泥現象は発生しなかった。載荷を繰返すうちに載荷板の下に水が十分浸透して噴泥現象が始まるものと推測される。
- 2) 噴泥現象が発生し、沈下曲線がある一定の勾配を有しながら沈下している時に、散水装置による水の供給量を増やすと沈下曲線勾配は急になる。
- 3) 本研究で試験した範囲では、盛土模型の強度が同じならば、盛土模型に供給される水量が多いほど沈下勾配は大きくなる。